

池沸腾换热特性的分析

西南科技大学土木工程与建筑学院 刘东 蒋斌 唐中华

摘 要 应用FLUENT软件对水在容器中池沸腾进行数值模拟, 得到水蒸气与液态水的发生过热池沸腾时的分布规律, 并对比不同底面温度(热流密度)下过热沸腾的热流密度及速度变化。研究表明: 蒸汽到达底面温度一定时, 底面热流无规则上下波动, 随着底面温度的增加, 同一时刻整个流场蒸汽的速度明显增加。

关键词 相变 池沸腾 fluent

沸腾传热以其低温差、高热流密度在动力、冶金、石油、化工和制冷等工业中广泛应用, 特别是近年来随着微电子技术的快速发展, 急需高热流、小体积的冷却换热技术支撑, 强化沸腾换热是解决这一难题的有效途径^[1]。发动机的冷却系统中, 沸腾传热是其中一种重要的换热方式, 在冷却水腔大部分外围区域, 由于壁面温度较低, 热流量较小, 换热主要以对流传热的方式进行; 而在火力板和排气道周围的一些高温区域, 由于热流量较大, 换热主要以沸腾传热的方式进行^[1]。由于相变因素的影响, 其传热机理与对流换热有很大的差别。如果在设计内燃机冷却水腔时能充分利用沸腾传热的优点, 可使得结构更加紧凑、合理。但是如果出现过度沸腾甚至膜态沸腾, 则会导致壁面过热, 造成缸盖的热损坏^[2-3]。

但在船舶事起火故中, 船舶的钢制表面导热效果强, 当发生油料燃烧时容易形成高温表面而当这个高温表面高于油料沸点, 就会在钢铁表面发生沸腾现象, 而沸腾发生时, 燃烧速率急剧增大、导热速率急剧增大, 油料的沸点越低越容易产生对船舶安全不利的沸腾传热(沸腾燃烧), 这个时候就要想办法避免沸腾换热。因此, 作者通过对沸腾换热问题进行数值模拟, 了解沸腾换热过程中组分、速度、温度的变化情况, 为有效的利用沸腾换热提供基础。

1 模拟计算过程

1.1 模型结构

如图1所示: 高1m, 底面半径是0.1m的圆柱形容器内装满372K接近沸点的水, 底面中心半径为0.05m的范围内温度恒定在573K, 远高于沸点温度。由于存在导热, 底面附近的水温升到沸点以上, 产生水蒸气气泡, 而水泡由于浮力, 在液相区出现气相。

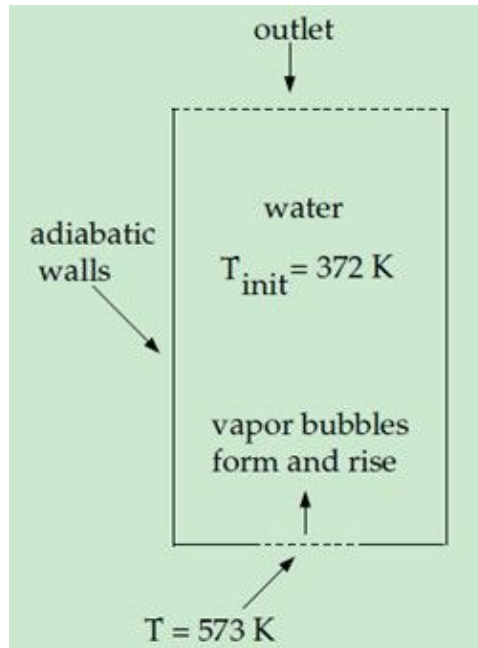


图1模型示意图

1.2 网格划分

模拟计算时,热量是从下壁面传入,所以下壁面附近的区域是研究重点,对其进行加密,加密情况详见图2

节点数;3861nodes, 3996elements

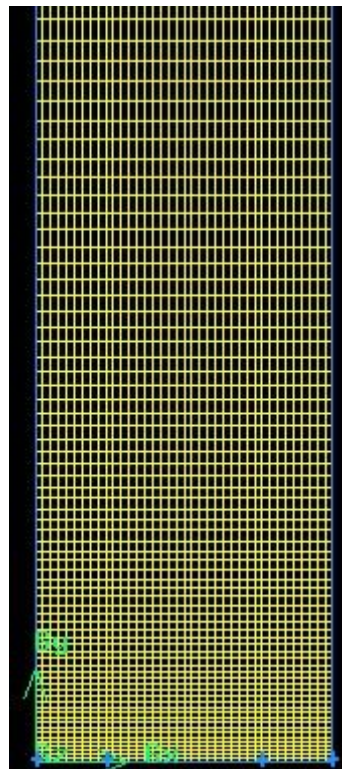


图2容器底面网格加密示意图

1.3 计算模型、工质及边界条件设置

采用二维双精度模型; 开启能量方程。

计算工质为水，但由于底部散热过程中发生相变，对water(l)以及water(v)分别定义。水蒸气由于浮力作用上升，因此激活重力。引入UDF定义水蒸气与液态水两相之间的质量传递。

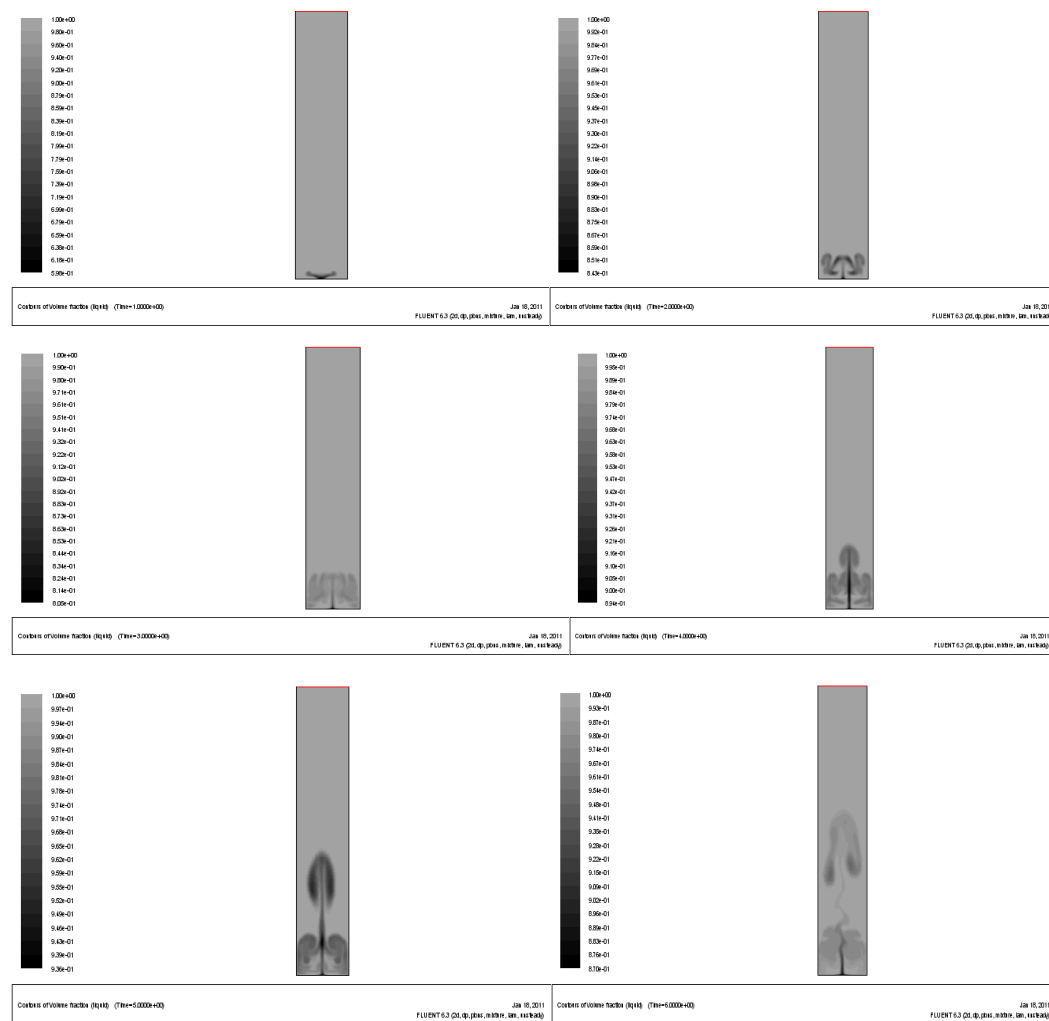
定义边界条件：左右为绝热边界，下表面给定温度。

求解及保存：由于要监控每秒钟液体和蒸汽的相对变化，每隔1s自动保存一次case和data。时间步长为0.01s，时间步为1000。

2 结果与讨论

2.1 高温区域为573K时，汽相与液相的组分变化情况

图3为高温区域573K时，汽相与液相的组分变化情况：每隔一秒记录一次容器内组分的变化情况，得到以下14s内容器中组分变化图：可以看出在前面几秒内圆柱形底部的区域中心首先开始出现汽相，可以发现直到第五秒，汽相以圆柱的中心轴近似对称分布，到第六秒后，汽相明显的无规则扩散，而整个流场的汽液分布也失去对称的形态。第14s时，汽相到达圆柱形容器顶端。



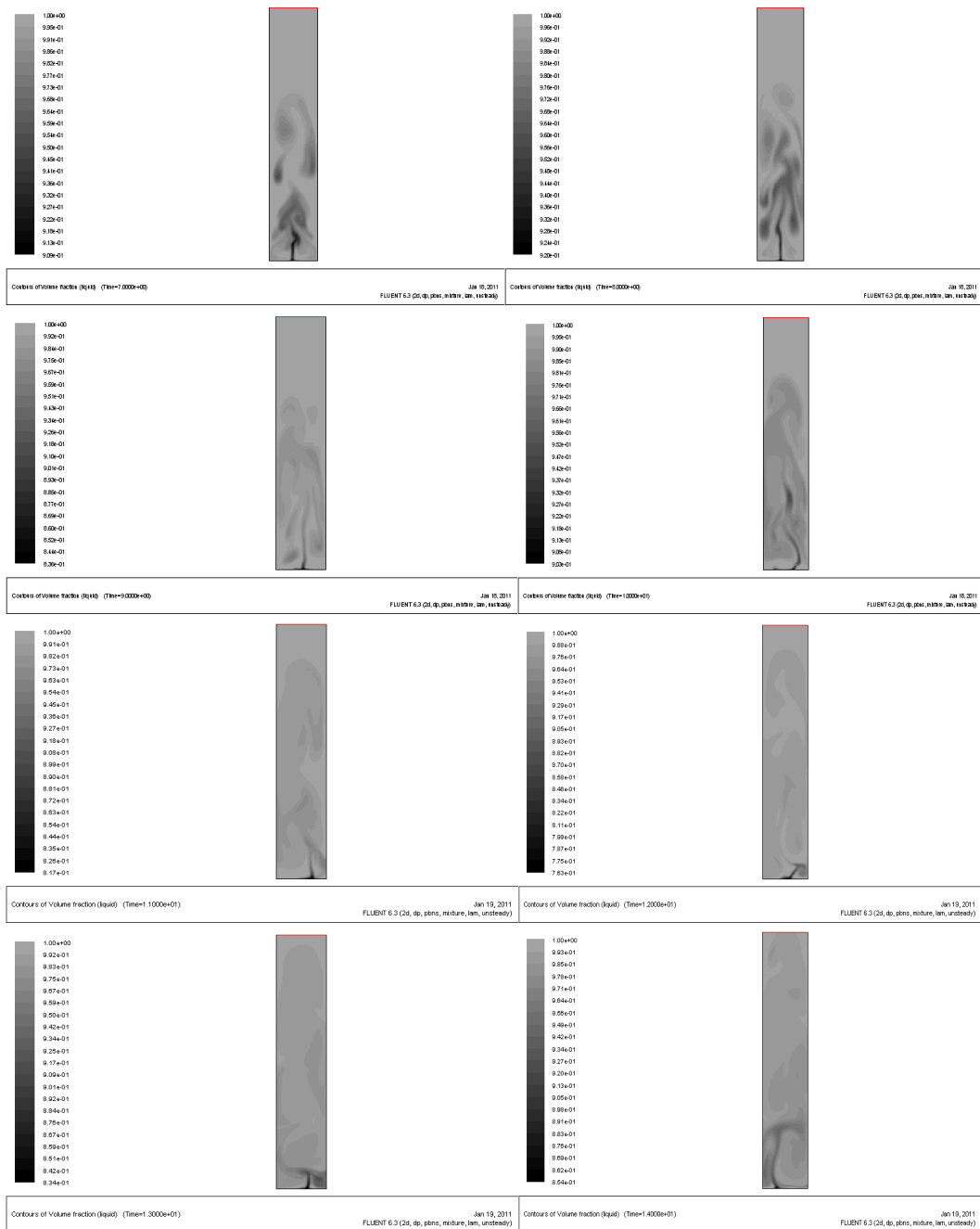


图3高温区域为573K时，14秒时汽相与液相的组分变化情况

2.2同一时刻不同底部温度（热流密度），区域内蒸汽速度变化情况

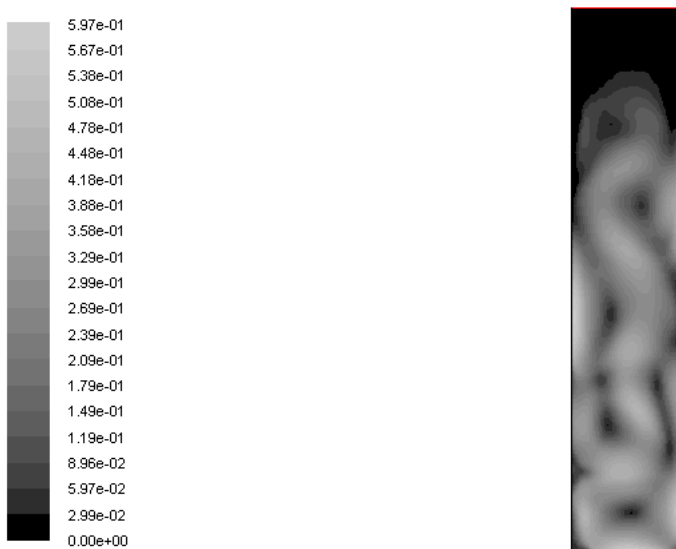
同样是10s时刻，图4、5、6分别为底面温度分别为573K，673K，773K时，蒸汽的速度随着时间变化情况。汽相速递随底面温度升高,底面热流密度变大而增大: 573K时的最大速度在48.9m/s，673K时的最大速度在59.7 m/s，773K时的最大速度达到了73.7m/s。.



Contours of Velocity Magnitude (vapor) (m/s) (Time=1.0000e+01)

Jan 19, 2011
FLUENT 6.2 (2d, dp, segregated, mixture, lam, unsteady)

图4 10s时刻，底面温度573K，蒸汽的速度



Contours of Velocity Magnitude (vapor) (m/s) (Time=1.0000e+01)

Jan 19, 2011
FLUENT 6.2 (2d, dp, segregated, mixture, lam, unsteady)

图5 10s时刻，底面温度673K，蒸汽的速度



Contours of Velocity Magnitude (vapor) (m/s) (Time=1.0000e+01)

Jan 19, 2011
FLUENT 6.2 (2d, dp, segregated, mixture, lam, unsteady)

图6 10s时刻，底面温度773K，蒸汽的速度

2.3不同底部温度，热流密度随着时间变化

图7为底部温度为573K时，在1-10个时刻点得到的底部热流密度变化数据

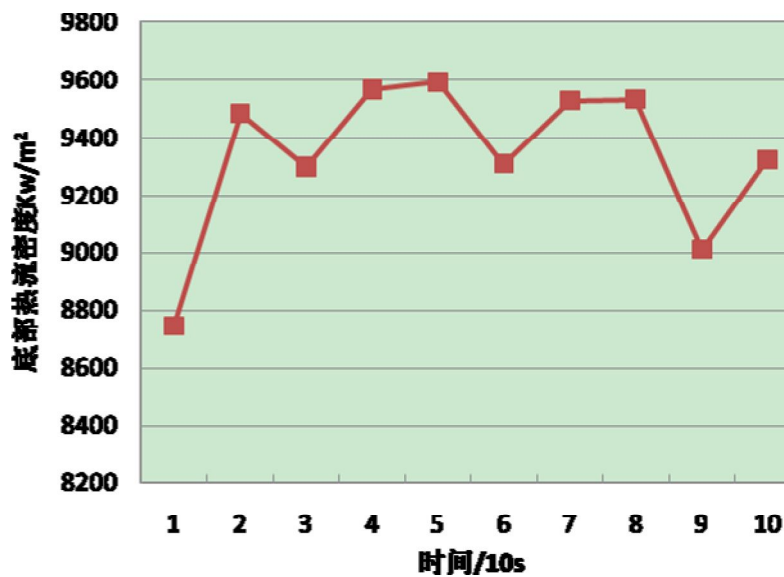


图7底部温度573K底部热流密度变化数据随时间变化情况

图8为底部温度分别为573K，673K，773K时，热流密度随着时间变化情况

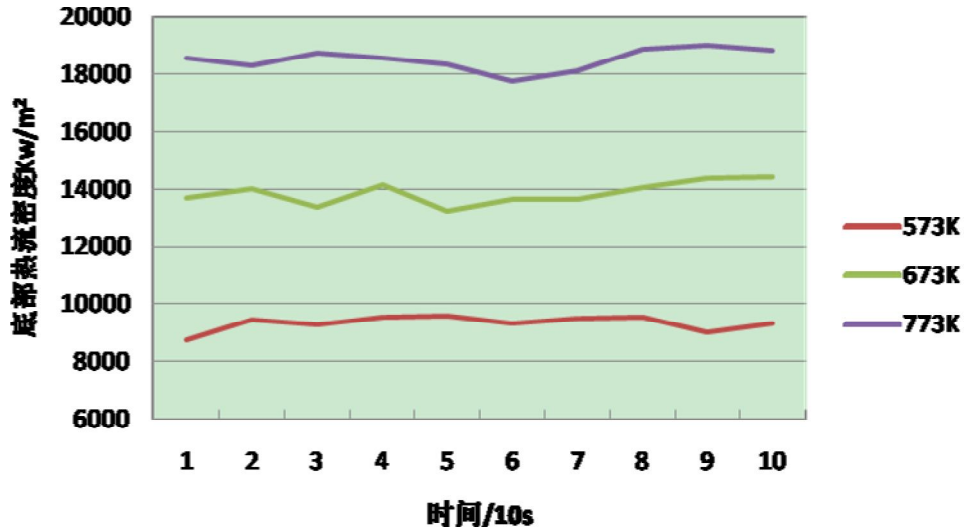


图8不同底部温度时热流密度变化数据随时间变化情况

3 结论

- 1) 高温区域573K时, 可以发现直到第五秒, 汽相以圆柱的中心轴近似对称分布, 到第六秒后, 汽相明显的无规则扩散, 而整个流场的汽液分布也失去对称的形态。到第14s时, 汽相到达圆柱形容器顶端。
- 2) 汽相速率随底面温度升高, 底面热流密度变大而明显增大。

参考文献

- [1] 林成祥, 陈颖, 史保新, 谭凯. 纳米制冷剂在水平光管内沸腾换热的实验研究[J]. 广东工业大学学报. 2010, 27(2):50-53
- [2] 傅松, 胡玉平, 李新才, 陈志忠, 李国祥. 柴油机缸盖水腔沸腾传热的修正计算[J]. 车用发动机. 2010, 188(3):39-42
- [3] 麦华志, 李国祥. 缸盖冷却水的单相流沸腾模型[J]. 山东内燃机. 2005, 27(2):8-11